

УДК 666.762.11:666.762.8

Л.О. АНГОЛЕНКО, канд. техн. наук,*Г.Д. СЕМЧЕНКО*, докт. техн. наук, *С.В. ТИЩЕНКО*,*Т.В. ІЛЫЧОВА*, НТУ «ХПІ», м. Харків*В.В. ПОВШУК*, ВАТ «Укрспецогнеупор», м. Запоріжжя

ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДІВ МАС КОМПОЗИЦІЇ $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiC} - \text{C}$ МЕТОДОМ ПОВНОГО ФАКТОРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

Представлено результати оптимізації складів мас на основі композиції $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiC} - \text{C}$, що містять добавки високоглиноземистого цементу, реактивного глинозему й SiO_2 , у вигляді рівняння регресії, де значимими факторами є вміст SiC і кремнезему. Установлено, що для одержання щільних матеріалів кількість карбіду кремнію не повинна перевищувати 20 мас. % при введенні реактивного глинозему в кількості 1 мас. % й SiO_2 – до 2,5 мас. % (понад 100 %).

The results of optimization of masses on the basis of $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiC} - \text{C}$ composition, containing additive of highly alumina cement, reactive alumina and SiO_2 , as the equation of regress, where the meaningful factors are the content of SiC and silica have been presented. It has been established, that for obtaining of dense materials the quantity of silicon carbide should not exceed 20 wt. % with addition of reactive in quantity 1 wt. %, and SiO_2 – up to 2,5 wt. % (over 100 %).

Матеріали на основі композиції $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiC} - \text{C}$ мають широке впровадження в металургійній промисловості: їх застосовують для виготовлення виробів для ковзних затворів, заглибних стаканів і різних неформованих вогнетривів, наприклад, для футеровки льоток і жолобів [1 – 2]. Введення карбіду кремнію сприяє підвищенню абразивної й корозійної стійкості корундографітових матеріалів [3], а графіт знижує температурний коефіцієнт лінійного розширення й підвищує теплопровідність і термічну стійкість [4 – 5], що особливо актуально при виготовленні неформованих вогнетривів. Для підвищення їх механічної міцності, зниження поруватості, збільшення щільності, що перешкоджає проникненню шлаків і розплавленого металу у футеровку жолобів, використовують різні зв'язуючі (органічні, мінеральні, органо-мінеральні) [6 – 7] і добавки, що сприяють спіканню й запобіганню окисненню графіту [8], а також в'язучі для досягнення високої механічної міцності [9]. Тому для забезпечення необхідної стійкості футеровки жолобів необхідно оптимізувати фазовий склад вогнетривких матеріалів на основі композиції $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiC} - \text{C}$, використовуючи в'язучі компоненти, пластифікуючі та спікаючі добавки, наприклад, кремнезему й реактивного глинозему, вияв-

ляючи їх вплив на фізико-механічні властивості ультранизькоцементних мас.

Мета роботи – оптимізувати склади матеріалів композиції $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiC} - \text{C}$, а саме вміст карбіду кремнію, реактивного глинозему та добавки SiO_2 , визначити уявну щільність та межу міцності на стиск сирцю та випалених при 1450°C матеріалів, виявити фізико-механічні характеристики неформованих вогнетривів.

Матеріали розробляли з використанням електрокорунду крупної й дрібної фракції, тонкодисперсного карбіду кремнію в кількості 20 – 30 мас. %, графіту лускатого 5 мас. %, високоглиноземистого цементу 5 мас. % (понад 100 %), 5 мас. % (понад 100 %) алюмохромфосфатного зв'язуючого, а також добавок SiO_2 і реактивного глинозему. Зразки виготовляли методом набивання, потім термообробляли при 1450°C . Визначено уявну щільність як сирцю, так і термооброблених матеріалів.

Залежність уявної щільності сирцевих корундографітових карбідкремнієвмісних ультранизькоцементних вогнетривких мас від кількості карбіду кремнію представлено на рис. 1а та рис. 1б. Аналіз залежностей $\rho_{\text{уяв}}$ від кількості карбіду кремнію в шихті показує, що уявна щільність сирцю зменшується на 4,5 – 6,2 % з підвищенням масової частки SiC від 20 до 30 мас. %. Вплив добавки реактивного глинозему на величину уявної щільності незначний ($\pm 0,5 - 1,5$ %), добавка кремнезему знижує величину $\rho_{\text{уяв}}$ на 2 – 3,5 %, спільне введення добавки SiO_2 і реактивного глинозему зменшує щільність сирцю на 2,5 – 4 %.

Оптимізацію складів мас здійснювали методом повного факторного експерименту виду 2^3 [10], де в якості функції відгуку обрали уявну щільність, а змінними стану були: X_1 – кількість карбіду кремнію, мас. % (20 – 30 мас. %); X_2 – кількість реактивного глинозему, мас. % (0 – 1 мас. %); X_3 – кількість кремнеземистої добавки, мас. % (0 – 5 мас. %). Матрицю планування представлено в таблиці. Отримано математичну модель, що описує залежність уявної щільності від кількості карбіду кремнію, реактивного глинозему та SiO_2 , у вигляді рівняння

$$\rho_{\text{уяв}} = 2,50625 - 0,07375 x_1 - 0,02125 x_3,$$

що адекватно описує отримані експериментальні дані.

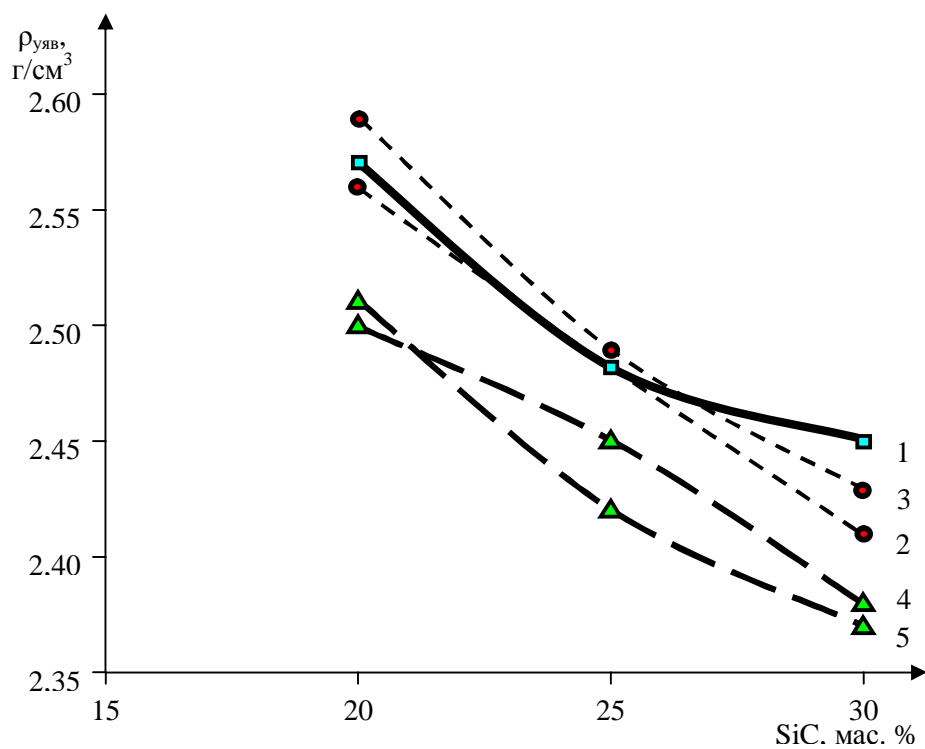


Рис. 1. Залежність уявної щільності сирцю мас на основі композиції $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiC} - \text{C} - \text{ВГЦ} - \text{АХФЗ}$ від кількості карбіду кремнію, SiO_2 і реактивного глинозему (РГ): 1 – без добавок; 2 – 0,5 мас. % РГ; 3 – 1 мас. % РГ; 4 – 2,5 мас. % SiO_2 ; 5 – 5 мас. % SiO_2

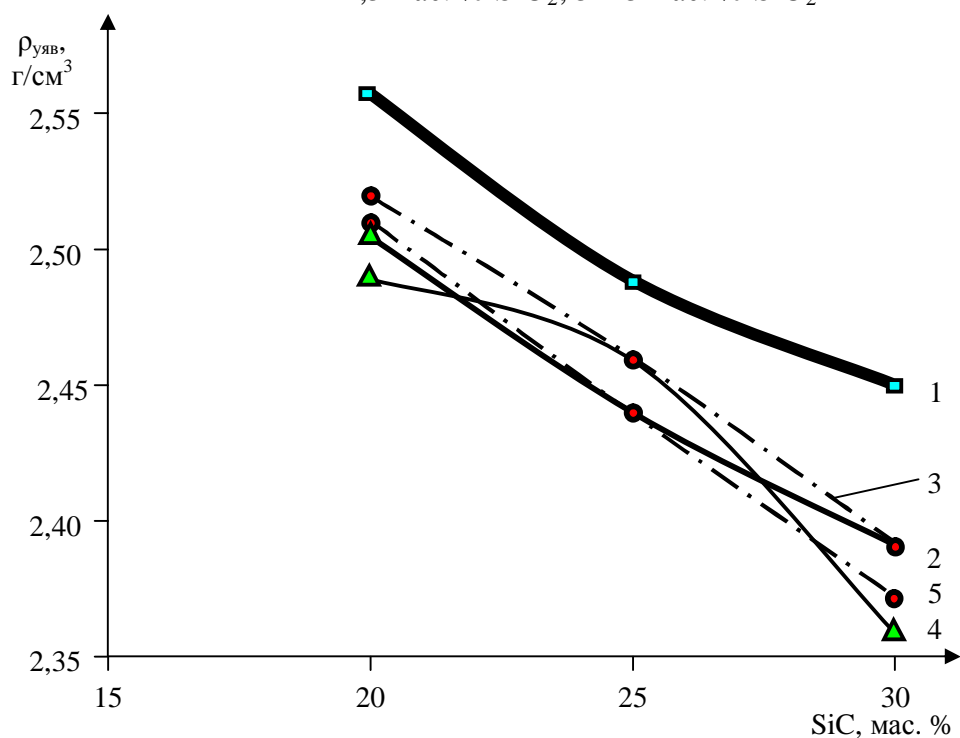


Рис. 2. Залежність уявної щільності сирцю від кількості карбіду кремнію в вогнетривких бетонах системи $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiC} - \text{C} - \text{АХФЗ}$ із введенням різної кількості добавок SiO_2 і реактивного глинозему: 1 – без добавок; 2 – 0,5 мас. % РГ + 2,5 мас. % SiO_2 ; 3 – 1 мас. % РГ + 2,5 мас. % SiO_2 ; 4 – 0,5 мас. % РГ + 5 мас. % SiO_2 ; 5 – 1 мас. % РГ + 5 мас. % SiO_2

Матриця планування та результати експерименту

№	X ₁	X ₂	X ₃	y _{u1}	y _{u2}	y _{u3}	y _{u4}	\bar{y}_u	\tilde{y}_u	$(\bar{y}_u - \tilde{y}_u)^2 \cdot 10^5$
1	+	+	+	2,41	2,42	2,41	2,41	2,41	2,41125	0,1562
2	–	+	+	2,56	2,57	2,56	2,55	2,56	2,55875	0,1562
3	+	–	+	2,41	2,41	2,41	2,40	2,41	2,41125	0,1562
4	–	–	+	2,56	2,56	2,56	2,55	2,56	2,55875	0,1562
5	+	+	–	2,46	2,46	2,46	2,45	2,46	2,45375	3,9062
6	–	+	–	2,61	2,59	2,60	2,60	2,60	2,60125	0,1562
7	+	–	–	2,47	2,45	2,43	2,43	2,45	2,45375	3,9062
8	–	–	–	2,61	2,60	2,60	2,57	2,60	2,60125	0,1562

$$\Sigma = 8,7499$$

Як видно з рівняння, вплив фактора x_2 – вмісту реактивного глинозему в матеріалі – незначний й не враховується в рівнянні регресії. Вплив фактора x_1 (вмісту карбіду кремнію) на величину уявної щільності більш значний, ніж фактора x_3 (вмісту кремнеземистої добавки).

Уявна щільність матеріалів після випалу, у порівнянні зі щільністю сирцю (2,36 – 2,59 г/см³), у середньому підвищується на 0,5 – 2,5 %.

Як видно з рис. 3 та рис. 4, з підвищенням вмісту SiC від 20 до 30 мас. % уявна щільність випалених матеріалів композиції Al₂O₃ – SiC – C на ВГЦ й АХФЗ, як і для сирцю, знижується на 5,9 – 6,9 % від 2,39 до 2,62 г/см³.

Введення добавки реактивного глинозему підвищує щільність випаленого матеріалу незначно на 0,4–0,8 %, від 2,45–2,60 г/см³ до 2,46–2,62 г/см³ (це пояснюється пластифікуючим ефектом даної добавки при набиванні через її високу дисперсність – менше 1 мкм, а також більш низькою температурою спікання), при цьому ефективніше його введення в кількості 1 мас. % , ніж 0,5 мас. % (понад 100 %). Добавка кремнезему знижує величину $\rho_{уяв}$ на 0,8 – 1,6 % (від 2,45 – 2,60 г/см³ до 2,41 – 2,56 г/см³), що обумовлено його більш низькою питомою вагою в порівнянні з корундом і карбідом кремнію – 2,63 проти 3,99 й 3,21 г/см³ відповідно. Спільне введення добавки SiO₂ і реактивного глинозему зменшує щільність на 1,2 – 2,5 %. При цьому щільність вище при введенні комплексної добавки реактивний глинозем – кремнезем при співвідношенні РГ : SiO₂ = 1 : 2,5. Для одержання більш щільних матеріалів композиції Al₂O₃ – SiC – C з введенням до їх складу високо глиноземистого цементу сумісно з алюмохромфосфатною зв'язкою у кількості до

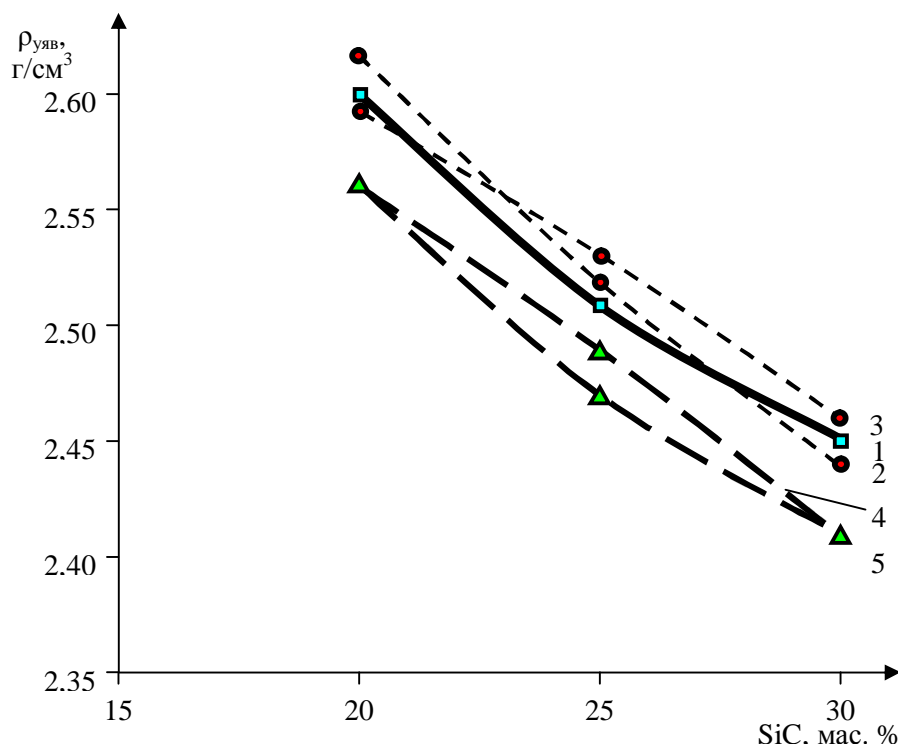


Рис. 3. Залежність уявної щільності випалених мас композиції $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiC} - \text{C} - \text{ВГЦ} - \text{АХФЗ}$ від кількості карбіду кремнію, SiO_2 та реактивного глинозему (РГ): 1 – без добавок; 2 – 0,5 мас. % РГ; 3 – 1 мас. % РГ; 4 – 2,5 мас. % SiO_2 ; 5 – 5 мас. % SiO_2

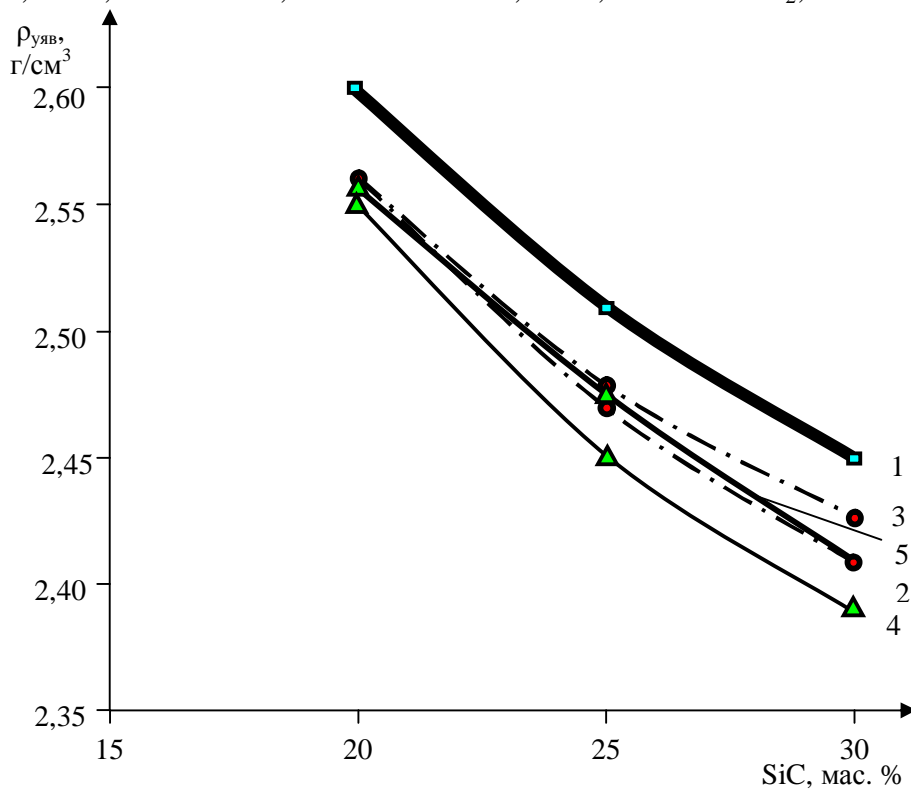


Рис. 4 – Залежність уявної щільності випалених матеріалів композиції $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiC} - \text{C} - \text{ВГЦ} - \text{АХФЗ}$ від кількості карбіду кремнію з введенням різної кількості добавок SiO_2 та реактивного глинозему (РГ):

1 – без добавок; 2 – 0,5 мас. % РГ + 2,5 мас. % SiO_2 ; 3 – 1 мас. % РГ + 2,5 мас. % SiO_2 ; 4 – 0,5 мас. % РГ + 5 мас. % SiO_2 ; 5 – 1 мас. % РГ + 5 мас. % SiO_2

5 мас. %, рекомендується вводити карбід кремнію до 20 мас. % та добавку реактивного глинозему 1 мас. % (понад 100 %).

Введення кремнеземистої добавки обумовлено її здатністю утворювати при випалі склофазу, що перешкоджає вигорянню графіту, тому її вміст бажаний до 2,5 мас. % (понад 100 %). Комплексна добавка реактивний глинозем – кремнезем ефективна у кількості 1 мас. % РГ + 2,5 мас. % SiO_2 .

Таким чином, в результаті проведених дослідів виявлено вплив на уявну щільність матеріалів системи $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiC} - \text{C}$, що містять ВГЦ, добавки SiO_2 , реактивного глинозему та АХФЗ, встановлено, що найбільший вплив на щільність матеріалу має вміст карбіду кремнію. Його збільшення від 20 до 30 мас. % зменшує уявну щільність. Введення добавки реактивного глинозему та SiO_2 сприяє ущільненню матеріалу $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiC} - \text{C}$ за рахунок їх пластифікуючої та спікаючої дії.

Список літератури: 1. *Tsukamoto N.* Present Situation and Future Forecast of Japanese Refractories Industry // World Refractory Congress – 2004. Suntec Singapore, 27 – 29 June 2004. Session 4. – Р. 1 – 13. 2. *Маргишвили А.П., Кузнецова О.С., Коваленко А.А. и др.* Алюмокарбидкремнеуглеродистые огнеупоры для футеровки передвижных миксеров // Новые огнеупоры. – М.: ООО «Интермет Инжиниринг». – 2007. – № 11. – С. 28 – 30. 3. *Тахаутдинов Р.С., Маркин В.Ф., Никифоров А.Н. и др.* Повышение эффективности службы огнеупоров в футеровке передвижных миксеров // Бюл. науч.-техн. информации «Черная металлургия». – 1999. – Вып. 7 – 8. – С. 53 – 54. 4. *Овсянников В.Г., Маркин В.Ф., Никифоров А.Н. и др.* Опыт использования алюмокарбидкремнеуглеродистых огнеупоров в футеровке передвижных миксеров ОАО ММК // Новые огнеупоры. – М.: ООО «Интермет Инжиниринг». – 2007. – № 2. – С. 4 – 7. 5. *Суворов С.А., Дука А.П.* Влияние углерода и карбида кремния на свойства карбоксилированных огнеупоров // Новые огнеупоры. – М.: ООО «Интермет Инжиниринг». – 2007. – № 4. – С. 35 – 37. 6. *Кононов В.А.* Производство огнеупорных материалов в России и перспективы его развития. Часть I. Структура и сырьевая база огнеупорных предприятий // Огнеупоры и техническая керамика. – М.: ООО «Меттекс». – 2001. – № 12. – С. 30 – 41. 7. *Карпунин И.А., Владимиров В.С., Мойзис С.Е.* Механизм фосфатного твердения и перспективы применения металлофосфатных материалов (обзор). Часть II. Адгезионные свойства фосфатных вяжущих материалов // Новые огнеупоры. – М.: ООО «Интермет Инжиниринг». – 2005. – № 9. – С. 54 – 58. 8. *Суворов С.А., Дука А.П.* Защита карбоксилированных огнеупоров от воздействия окислительной атмосферы // Огнеупоры и техническая керамика. – М.: ООО «Меттекс». – 2007. – № 9. – С. 19 – 23. 9. *Замятин С.Р., Пургин А.К., Хорошавин Л.Б. и др.* Огнеупорные бетоны. – М.: Металлургия, 1982. – 192 с. 10. *Шведков Е.Л.* Элементарная математическая статистика в экспериментальных задачах материаловедения. – К.: Наукова думка. – 1975. – 112 с.

Надійшла до редколегії 28.04.08